

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-299943

(43)Date of publication of application : 11.10.2002

(51)Int.Cl.

H01Q 3/34

G01S 7/02

H01Q 21/06

(21)Application number : 2001-103459

(71)Applicant : MURATA MFG CO LTD

(22)Date of filing : 02.04.2001

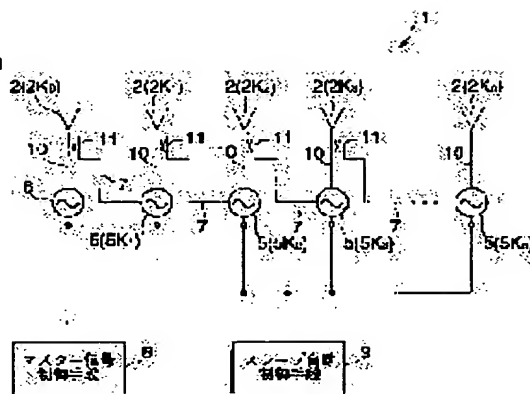
(72)Inventor : ISUPIRU RAAGUPU
SAITO YASUAKI
KAWABATA KAZUYA
NOGI SHIGEJI
SANAGI MINORU

(54) PHASED ARRAY ANTENNA DEVICE AND RADAR DEVICE USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make a device small and inexpensive.

SOLUTION: A plurality of antenna parts 2 are arranged, and a slave oscillator 5 is respectively subjected to signal connection with each of the antenna parts 2. The respective slave oscillators 5 are combined in one direction by one direction signal injection paths 7 in accordance with the arrangement of the antenna parts 2. The first slave oscillator 5K1 of the arrangement of the one direction combination is provided with a master oscillator 6. When the master oscillator 6 injects a master signal to the slave oscillator 5K1, an injection synchronization phenomenon takes place in the respective slave oscillators 5 to bring about phase differences in oscillation operation among the respective slave oscillators 5. Beams caused by the antenna operation of the respective antenna parts 2 are subjected to frequency modulation by the injection synchronization phenomenon in such a manner that a master signal controlling means 8 periodically changes master signals. Also, phase differences change due to the oscillation operation among the respective slave oscillators 5 to make the directions of beams variable. Accordingly, a large and expensive phase shifter is not needed any more.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection][Date of requesting appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-299943
(P2002-299943A)

(43) 公開日 平成14年10月11日 (2002. 10. 11)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 1 Q 3/34		H 0 1 Q 3/34	5 J 0 2 1
G 0 1 S 7/02		G 0 1 S 7/02	F 5 J 0 7 0
H 0 1 Q 21/06		H 0 1 Q 21/06	

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2001-103459 (P2001-103459)

(22) 出願日 平成13年4月2日 (2001. 4. 2)

(71) 出願人 000006231

株式会社村田製作所

京都府長岡京市天神二丁目26番10号

(72) 発明者 イスビル ラーグブ

京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式
会社村田製作所内

(72) 発明者 斉藤 泰章

京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式
会社村田製作所内

(74) 代理人 100093894

弁理士 五十嵐 清

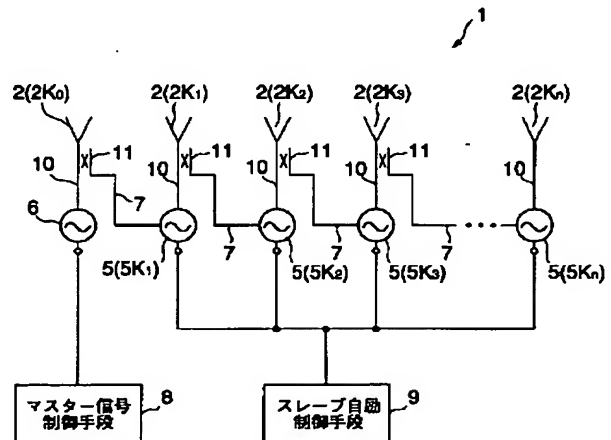
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フェーズドアレーアンテナ装置およびそれを用いたレーダ装置

(57) 【要約】

【課題】 装置の小型化および低コスト化を図る。

【解決手段】 複数のアンテナ部2を配列配置し、各アンテナ部2にはそれぞれスレーブ発振器5を信号接続する。それら各スレーブ発振器5をアンテナ部2の配列に応じて一方信号注入通路7によって一方結合する。上記一方結合の配列の先頭のスレーブ発振器5 K_1 にマスター発振器6を設ける。マスター発振器6からスレーブ発振器5 K_1 にマスター信号を注入すると、上記各スレーブ発振器5に注入同期現象が生じて各スレーブ発振器5間の発振動作に位相差が生じる。マスター信号制御手段8によって、マスター信号を周期的に変化させることにより、注入同期現象によって、各アンテナ部2のアンテナ動作に起因したビームが周波数変調し、且つ、各スレーブ発振器5間の発振動作に位相差が変化してビームの向きが可変する。大型且つ高価な位相器が不要となる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 配列配置された複数のアンテナ部と；これら各アンテナ部にそれぞれ信号接続される複数のスレーブ発振器と；これら複数のスレーブ発振器を上記アンテナ部の配列に応じて一方向結合させて、手前のスレーブ発振器から次のスレーブ発振器へと発振周波数信号を順次注入させるための一方向信号注入通路と；上記スレーブ発振器の一方向結合の配列順の先頭のスレーブ発振器にマスター信号を注入するマスター発振器と；を備え、上記マスター発振器からスレーブ発振器へのマスター信号の注入動作に基づく、注入同期現象によって、上記各スレーブ発振器の発振周波数を上記一方向結合の配列順に順次上記マスター信号の周波数に同期させると共に、上記一方向結合の配列の隣り合っている各スレーブ発振器間の発振動作に上記マスター信号受け側のスレーブ発振器の自励周波数とマスター信号の周波数との差に応じた位相差を生じさせる構成と成し、さらに、上記マスター発振器の発振動作を制御し上記マスター信号の周波数を周期的に変化させて、上記各アンテナ部のアンテナ動作によるビームを周波数変調させると共に、上記各スレーブ発振器間の発振の位相差を変化させて上記ビームの向きを可変させるマスター信号制御手段が設けられていることを特徴としたフェーズドアレーアンテナ装置。

【請求項 2】 各スレーブ発振器には、それぞれスレーブ発振器の自励周波数を予め定めた周波数に固定制御するスレーブ自励制御手段が設けられており、マスター信号制御手段は、予め定めた基本周波数の信号と、周波数が周期的に変化する周波数変調用信号と、該周波数変調用信号の周波数変化幅よりも大きい変化幅で、且つ、上記周波数変調用信号よりも長い周期でもって周波数が変化する走査用信号とが合成して成るマスター信号をマスター発振器の発振動作を制御して作り出す構成と成し、上記マスター信号の周波数変調用信号によってビームの周波数変調が制御され、上記走査用信号によってビームの走査が制御される構成としたことを特徴とする請求項 1 記載のフェーズドアレーアンテナ装置。

【請求項 3】 各スレーブ発振器には、それぞれスレーブ発振器の自励発振動作を制御するスレーブ自励制御手段が設けられており、マスター信号制御手段は、予め定めた基本周波数の信号と、周波数が周期的に変化する周波数変調用信号とが合成して成るマスター信号をマスター発振器の発振動作を制御して作り出す構成と成し、上記スレーブ自励制御手段は、スレーブ発振器の自励周波数を、上記マスター信号の周波数変調用信号の周波数変化幅よりも大きい変化幅で、且つ、上記周波数変調用信号よりも長い周期でもって変化させる構成と成し、上記マスター信号の周波数変調用信号によってビームの周波数変調が制御され、また、上記スレーブ発振器の自励周波数の周期的変化によってビーム走査が制御される構成

としたことを特徴とする請求項 1 記載のフェーズドアレーアンテナ装置。

【請求項 4】 各スレーブ発振器には、それぞれスレーブ発振器の自励発振動作を制御するスレーブ自励制御手段が設けられており、マスター信号制御手段は、予め定めた基本周波数の信号と、周波数が周期的に変化する周波数変調用信号と、該周波数変調用信号の周波数変化幅よりも大きい変化幅で、且つ、上記周波数変調用信号よりも長い周期でもって周波数が変化する走査用信号とが合成して成るマスター信号をマスター発振器の発振動作を制御して作り出す構成と成し、上記スレーブ自励制御手段は、スレーブ発振器の自励周波数を、上記マスター信号の周波数変調用信号の周波数変化にほぼ一致させて変化させる構成と成し、上記マスター信号の周波数変調用信号によってビームの周波数変調が制御され、上記走査用信号によってビームの走査が制御され、また、上記スレーブ発振器の自励周波数の可変によって上記マスター信号の周波数変調用信号に起因したビーム走査のぶれを抑制する構成としたことを特徴とする請求項 1 記載のフェーズドアレーアンテナ装置。

【請求項 5】 各スレーブ発振器には、それぞれスレーブ発振器の自励発振動作を制御するスレーブ自励制御手段が設けられており、マスター信号制御手段は、予め定めた基本周波数の信号と、周波数が周期的に変化する周波数変調用信号とが合成して成るマスター信号をマスター発振器の発振動作を制御して作り出す構成と成し、上記スレーブ自励制御手段は、上記マスター信号の周波数変調用信号の周波数変化にほぼ一致させた周波数変化と、その周波数変化幅よりも大きい変化幅で、且つ、長い周期となる周波数変化とが合成して成る周波数変化でもってスレーブ発振器の自励周波数を可変させる構成と成し、上記マスター信号の周波数変調用信号によってビームの周波数変調が制御され、上記スレーブ発振器の自励周波数の大側の周波数変化によってビームの走査が制御され、また、上記スレーブ発振器の自励周波数の小側の周波数変化によって上記マスター信号の周波数変調用信号に起因したビーム走査のぶれを抑制する構成としたことを特徴とする請求項 1 記載のフェーズドアレーアンテナ装置。

【請求項 6】 マスター発振器にアンテナ部が信号接続されており、このアンテナ部はアンテナ部配列の先頭に配置されることを特徴とした請求項 1 乃至請求項 5 の何れか 1 つに記載のフェーズドアレーアンテナ装置。

【請求項 7】 各アンテナ部は、複数のアンテナが集合して成るアンテナ群により構成されていることを特徴とした請求項 1 乃至請求項 6 の何れか 1 つに記載のフェーズドアレーアンテナ装置。

【請求項 8】 各アンテナ部は、ビームが走査される次元とは異なる次元上で配列配置された複数のアンテナから成るサブアンテナアレーにより構成されていることを

特徴とした請求項1乃至請求項6の何れか1つに記載のフェーズドアレーアンテナ装置。

【請求項9】 各アンテナ部はビームの送信および受信を行う構成と成し、各アンテナ部と、当該アンテナ部に信号接続するスレーブ又はマスターの発振器との間の信号通路には、それぞれ、上記発振器からアンテナ部への信号供給と、アンテナ部の受信信号を上記発振器とは異なる設定の出力部に向けて出力する信号出力とを行うためのサーキュレーターが介設されており、また、上記信号通路には上記サーキュレーターよりも発振器側の部位に上記発振器からアンテナ部に供給される信号を検出する送信信号取り出し部が設けられていることを特徴とした請求項1乃至請求項8の何れか1つに記載のフェーズドアレーアンテナ装置。

【請求項10】 送信用のアンテナ装置として、請求項1乃至請求項8記載のフェーズドアレーアンテナ装置の何れか1つが設けられ、また、受信用のアンテナ装置として、ビーム非走査タイプのアンテナ装置が設けられていることを特徴としたレーダ装置。

【請求項11】 送信用のアンテナ装置として、請求項1乃至請求項8記載のフェーズドアレーアンテナ装置の何れか1つが設けられると共に、受信用のアンテナ装置として、上記送信用のアンテナ装置と同様の構成を持つアンテナ装置が設けられており、上記送信用のアンテナ装置と受信用のアンテナ装置の各ビームの向きをほぼ同じ向きに走査制御するためのビーム走査手段が形成されていることを特徴としたレーダ装置。

【請求項12】 請求項9記載のフェーズドアレーアンテナ装置が設けられていることを特徴としたレーダ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、複数のアンテナが配列されて成るフェーズドアレーアンテナ装置およびそれをを用いたレーダ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図12にはフェーズドアレーアンテナ装置の主要構成の一例が模式的に示されている。この図12に示すように、フェーズドアレーアンテナ装置1は、複数のアンテナ部2(2a, 2b, ...)を有し、これら各アンテナ部2は互いに間隔を介して整列配置されている。各アンテナ部2はそれぞれ対応した移相器3(3a, 3b, ...)に接続され、各移相器3は共通の分波/合波器4に接続されている。

【0003】例えば、上記分波/合波器4から各移相器3を介して各アンテナ部2に信号が供給されると、該信号に基づいて各アンテナ部2から信号が送信され、これら各アンテナ部2から出力された送信信号によって送信ビームが形成される。また、各アンテナ部2が信号(ビーム)を受信すると、その受信信号が各アンテナ部2か

らそれぞれ対応する移相器3を通して共通の分波/合波器4に供給される。

【0004】上記移相器3は送信時に分波/合波器4側から供給された入力信号、あるいは、受信時に各アンテナ部2から加えられた入力信号の位相を変化させ該位相変化後の信号を出力する構成を有している。フェーズドアレーアンテナ装置1では、各移相器3毎に入力信号の位相に対する出力信号の位相の変化量 $\Delta\phi$ を可変制御することが可能な構成となっており、各移相器3の上記位相変化量 $\Delta\phi$ を可変制御することによって、各アンテナ部2の信号の位相を変化させることができる。

【0005】フェーズドアレーアンテナ装置1では、各アンテナ部2間の信号の位相差によって、ビームの向きが定まることから、上記移相器3の位相変化量 $\Delta\phi$ の可変制御によって各アンテナ部2の信号の位相を変化させて各アンテナ部2間の信号の位相差を可変制御することにより、フェーズドアレーアンテナ装置1の送信あるいは受信のビームの向きを制御することができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記移相器3は大型、且つ、高価である。このため、上記構成のフェーズドアレーアンテナ装置1では、上記大型且つ高価な移相器3をアンテナ部2の数に応じて多数設けなければならないために、装置が大型化してしまうという問題や、装置の価格が高価になってしまうという問題がある。また、上記移相器3は信号の導通損失が大きいため、フェーズドアレーアンテナ装置1の消費電力が大きいという問題もある。これらの問題があるために、上記構成のフェーズドアレーアンテナ装置1およびそれを搭載したレーダ装置の用途は、ごく限られたものであった。

【0007】本発明は上記課題を解決するために成されたものであり、その目的は、小型化および低コスト化を促進できて、汎用性が高いフェーズドアレーアンテナ装置およびそれをを用いたレーダ装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、この発明は次に示す構成をもって前記課題を解決するための手段としている。すなわち、第1の発明のフェーズドアレーアンテナ装置は、配列配置された複数のアンテナ部と；これら各アンテナ部にそれぞれ信号接続される複数のスレーブ発振器と；これら複数のスレーブ発振器を上記アンテナ部の配列に応じて一方向結合させて、手前のスレーブ発振器から次のスレーブ発振器へと発振周波数信号を順次注入させるための一方向信号注入通路と；上記スレーブ発振器の一方向結合の配列順の先頭のスレーブ発振器にマスター信号を注入するマスター発振器と；を備え、上記マスター発振器からスレーブ発振器へのマスター信号の注入動作に基づく、注入同期現

象によって、上記各スレーブ発振器の発振周波数を上記一方向結合の配列順に順次上記マスター信号の周波数に同期させると共に、上記一方向結合の配列の隣り合っている各スレーブ発振器間の発振動作に上記マスター信号受け側のスレーブ発振器の自励周波数とマスター信号の周波数との差に応じた位相差を生じさせる構成と成し、さらに、上記マスター発振器の発振動作を制御し上記マスター信号の周波数を周期的に変化させて、上記各アンテナ部のアンテナ動作によるビームを周波数変調させると共に、上記各スレーブ発振器間の発振の位相差を変化させて上記ビームの向きを可変させるマスター信号制御手段が設けられている構成をもって前記課題を解決する手段としている。

【0009】第2の発明のフェーズドアレーアンテナ装置は、上記第1の発明の構成を備え、各スレーブ発振器には、それぞれスレーブ発振器の自励周波数を予め定めた周波数に固定制御するスレーブ自励制御手段が設けられており、マスター信号制御手段は、予め定めた基本周波数の信号と、周波数が周期的に変化する周波数変調用信号と、該周波数変調用信号の周波数変化幅よりも大きい変化幅で、且つ、上記周波数変調用信号よりも長い周期でもって周波数が変化する走査用信号とが合成して成るマスター信号をマスター発振器の発振動作を制御して作り出す構成と成し、上記マスター信号の周波数変調用信号によってビームの周波数変調が制御され、上記走査用信号によってビームの走査が制御される構成としたことを特徴としている。

【0010】第3の発明のフェーズドアレーアンテナ装置は、上記第1の発明の構成を備え、各スレーブ発振器には、それぞれスレーブ発振器の自励発振動作を制御するスレーブ自励制御手段が設けられており、マスター信号制御手段は、予め定めた基本周波数の信号と、周波数が周期的に変化する周波数変調用信号とが合成して成るマスター信号をマスター発振器の発振動作を制御して作り出す構成と成し、上記スレーブ自励制御手段は、スレーブ発振器の自励周波数を、上記マスター信号の周波数変調用信号の周波数変化幅よりも大きい変化幅で、且つ、上記周波数変調用信号よりも長い周期でもって変化させる構成と成し、上記マスター信号の周波数変調用信号によってビームの周波数変調が制御され、また、上記スレーブ発振器の自励周波数の周期的変化によってビーム走査が制御される構成としたことを特徴としている。

【0011】第4の発明のフェーズドアレーアンテナ装置は、上記第1の発明の構成を備え、各スレーブ発振器には、それぞれスレーブ発振器の自励発振動作を制御するスレーブ自励制御手段が設けられており、マスター信号制御手段は、予め定めた基本周波数の信号と、周波数が周期的に変化する周波数変調用信号と、該周波数変調用信号の周波数変化幅よりも大きい変化幅で、且つ、上記周波数変調用信号よりも長い周期でもって周波数が変

化する走査用信号とが合成して成るマスター信号をマスター発振器の発振動作を制御して作り出す構成と成し、上記スレーブ自励制御手段は、スレーブ発振器の自励周波数を、上記マスター信号の周波数変調用信号の周波数変化にほぼ一致させて変化させる構成と成し、上記マスター信号の周波数変調用信号によってビームの周波数変調が制御され、上記走査用信号によってビームの走査が制御され、また、上記スレーブ発振器の自励周波数の可変によって上記マスター信号の周波数変調用信号に起因したビーム走査のぶれを抑制する構成としたことを特徴としている。

【0012】第5の発明のフェーズドアレーアンテナ装置は、上記第1の発明の構成を備え、各スレーブ発振器には、それぞれスレーブ発振器の自励発振動作を制御するスレーブ自励制御手段が設けられており、マスター信号制御手段は、予め定めた基本周波数の信号と、周波数が周期的に変化する周波数変調用信号とが合成して成るマスター信号をマスター発振器の発振動作を制御して作り出す構成と成し、上記スレーブ自励制御手段は、上記マスター信号の周波数変調用信号の周波数変化にほぼ一致させた周波数変化と、その周波数変化幅よりも大きい変化幅で、且つ、長い周期となる周波数変化とが合成して成る周波数変化でもってスレーブ発振器の自励周波数を可変させる構成と成し、上記マスター信号の周波数変調用信号によってビームの周波数変調が制御され、上記スレーブ発振器の自励周波数の大側の周波数変化によってビームの走査が制御され、また、上記スレーブ発振器の自励周波数の小側の周波数変化によって上記マスター信号の周波数変調用信号に起因したビーム走査のぶれを抑制する構成としたことを特徴としている。

【0013】第6の発明のフェーズドアレーアンテナ装置は、上記第1～第5の発明の何れか1つの発明の構成を備え、マスター発振器にアンテナ部が信号接続されており、このアンテナ部はアンテナ部配列の先頭に配置されることを特徴として構成されている。

【0014】第7の発明のフェーズドアレーアンテナ装置は、上記第1～第6の発明の何れか1つの発明の構成を備え、各アンテナ部は、複数のアンテナが集合して成るアンテナ群により構成されていることを特徴としている。

【0015】第8の発明のフェーズドアレーアンテナ装置は、上記第1～第6の発明の何れか1つの発明の構成を備え、各アンテナ部は、ビームが走査される次元とは異なる次元上で配列配置された複数のアンテナから成るサブアンテナアレーにより構成されていることを特徴としている。

【0016】第9の発明のフェーズドアレーアンテナ装置は、上記第1～第8の発明の何れか1つの発明の構成を備え、各アンテナ部はビームの送信および受信を行う構成と成し、各アンテナ部と、当該アンテナ部に信号接

10

20

30

40

50

続するスレーブ又はマスターの発振器との間の信号通路
上には、それぞれ、上記発振器からアンテナ部への信号
供給と、アンテナ部の受信信号を上記発振器とは異なる
設定の出力部に向けて出力する信号出力とを行うための
サーキュレーターが介設されており、また、上記信号通
路には上記サーキュレーターよりも発振器側の部位に上
記発振器からアンテナ部に供給される信号を検出する送
信信号取り出し部が設けられていることを特徴として構
成されている。

【0017】第10の発明のレーダ装置は、送信用のア
ンテナ装置として、上記第1～第8の発明の何れか1つ
の発明のフェーズドアレーアンテナ装置が設けられ、ま
た、受信用のアンテナ装置として、ビーム非走査タイプ
のアンテナ装置が設けられていることを特徴として構成
されている。

【0018】第11の発明のレーダ装置は、送信用のア
ンテナ装置として、上記第1～第8の発明の何れか1つ
の発明のフェーズドアレーアンテナ装置が設けられると
共に、受信用のアンテナ装置として、上記送信用のアン
テナ装置と同様の構成を持つアンテナ装置が設けられて
おり、上記送信用のアンテナ装置と受信用のアンテナ装
置の各ビームの向きをほぼ同じ向きに走査制御するため
のビーム走査手段が形成されていることを特徴として構
成されている。

【0019】第12の発明のレーダ装置は、上記第9の
発明のフェーズドアレーアンテナ装置が設けられている
ことを特徴として構成されている。

【0020】上記構成の発明において、スレーブ発振器
をアンテナ部の配列に応じて一方向結合させ、その一方
向結合の配列の先頭のスレーブ発振器にマスター発振器
からマスター信号を注入する構成と成している。そのマ
スター信号の注入動作により、同期注入現象によって、
各スレーブ発振器の発振周波数は上記マスター信号の周
波数に同期し、且つ、一方向結合の配列の隣り合ってい
るスレーブ発振器間の発振動作にはマスター信号受け側
のスレーブ発振器の自励周波数とマスター信号の周波数
との差に応じた位相差が発生する。

【0021】この発明では、上記マスター発振器の発振
動作を制御して上記マスター信号の周波数を周期的に変
化させるためのマスター信号制御手段が設けられてお
り、このマスター信号制御手段によって上記マスター信
号の周波数の可変制御を行うことにより、各アンテナ部
のアンテナ動作によるビームの周波数変調と、ビームの
向きの可変制御とが可能となる。

【0022】これにより、この発明では、前述したよう
な大型で高価な位相器を設けなくとも、各アンテナ部の
信号間に位相差を生じさせることができることとなっ
て、ビームの向きを可変制御することが可能となる。こ
のように、大型で高価な位相器を設けなくて済むため
に、フェーズドアレーアンテナ装置や、このフェーズド

アレーアンテナ装置を搭載したレーダ装置の小型化およ
び低コスト化を促進させることができ、上記フェーズド
アレーアンテナ装置やレーダ装置の用途拡大を図ること
ができる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下に、この発明に係る実施形態
例を図面に基づいて説明する。

【0024】ところで、発振器（電圧制御発振器（VCO））が自励周波数 f_{sl} でもって発振動作を行っている場合に、その発振器に、下記の数式1に示される同期条件を満たす周波数 f_m の信号が注入されると、その発振器の発振周波数は上記注入信号の周波数 f_m に同期し、且つ、その発振器の出力信号と上記注入信号との間には上記注入信号の周波数 f_m と上記発振器の自励周波数 f_{sl} との差に応じた位相差 $\Delta\phi$ が発生する。このような発振器への信号の注入に起因した現象は注入同期現象と呼ばれている。

【0025】

【数1】

$$f_{sl} - \frac{f_{sl} \cdot |A_m|}{2 \cdot Q \cdot |A_{sl}|} < f_m < f_{sl} + \frac{f_{sl} \cdot |A_m|}{2 \cdot Q \cdot |A_{sl}|}$$

【0026】なお、上記数式1の A_m は注入信号の電圧を表し、 A_{sl} は信号注入前の発振器の出力信号の電圧を表し、 Q は発振器とその周囲環境によって定まる定数（外部品質ファクター）を表している。

【0027】また、下記の数式2には、発振器への信号注入による上記注入同期現象に起因した上記注入信号と上記発振器の出力信号との位相差 $\Delta\phi$ と、上記発振器の自励周波数 f_{sl} と、上記注入信号の周波数 f_m との関係が表されている。なお、数式2の Δf_d は、上記数式1に示される注入信号の電圧 A_m と、信号注入前の発振器の出力信号の電圧 A_{sl} と、発振器の自励周波数 f_{sl} と、外部品質ファクター Q とにより、下記の数式3に従って求まる定数である。

【0028】

【数2】

$$\Delta\phi = \sin^{-1} \left(\frac{f_m - f_{sl}}{\Delta f_d} \right)$$

【0029】

【数3】

$$\Delta f_d = \frac{f_{sl} \cdot |A_m|}{2 \cdot Q \cdot |A_{sl}|}$$

【0030】本発明者は上記のような発振器の注入同期現象に着目して、フェーズドアレーアンテナ装置およびそれを備えたレーダ装置を考え出した。

【0031】図1にはその特有な構成を備えた第1実施形態例のフェーズドアレーアンテナ装置が模式的に示されている。この第1実施形態例に示すフェーズドアレーアンテナ装置1はビームの周波数変調機能とビーム走査機能を備えたものであり、複数のアンテナ部2（2

$K_1, 2K_2, 2K_3, \dots, 2K_n$)と、複数のスレーブ発振器5 ($5K_1, 5K_2, 5K_3, \dots, 5K_n$)と、マスター発振器6と、一方向信号注入通路7と、マスター信号制御手段8と、スレーブ自動制御手段9とを有して構成されている。

【0032】図1に示すように、この第1実施形態例では、上記複数のアンテナ部2は配列配置されている。また、上記各スレーブ発振器5は、それぞれ、同じ構成の電圧制御発振器(VCO)により形成されており、出力ポートと入力ポートと制御用ポートを有している。上記各アンテナ部2は、それぞれ、一対一に対応する上記スレーブ発振器5の出力ポートに信号通路10を介して信号接続されており、各アンテナ部2にはそれぞれ対応するスレーブ発振器5から該スレーブ発振器5の発振周波数を持つ信号が供給される。各アンテナ部2は上記スレーブ発振器5から供給された信号に基づいてアンテナ動作を行う。なお、アンテナ部2の構成には様々な種類があり、この第1実施形態例では、アンテナ部2は、それら複数種の何れの構成をも採り得るものであり、ここでは、その説明は省略する。

【0033】この第1実施形態例では、上記アンテナ部2とスレーブ発振器5間の信号通路10には信号検出部11が介設されている。この信号検出部11は信号分配器あるいは方向性結合器により構成されており、上記複数のスレーブ発振器5は、上記アンテナ部2の配列に応じて、上記信号通路10と信号検出部11と一方向信号注入通路7によって結合されている。上記各スレーブ発振器5は、それぞれ、信号(パワー)が出力ポートから出るが、入力ポートからは出ないものであるので、上記複数のスレーブ発振器5の上記一方向信号注入通路7を介する結合は一方向結合となる。つまり、上記一方向信号注入通路7は、例えば、スレーブ発振器5 K_1 の発振周波数の信号を該スレーブ発振器5 K_1 とアンテナ部2 K_1 間の信号通路10の信号検出部11から検出し、この検出した信号を次のスレーブ発振器5 K_2 の入力ポートに注入するという如く、手前のスレーブ発振器5から次のスレーブ発振器5へと発振周波数信号を上記アンテナ部2の配列順に順次注入させる構成と成している。なお、スレーブ発振器の出力から次のスレーブ発振器の出力までの位相差を360°の整数倍に設定する。

【0034】上記マスター発振器6も上記スレーブ発振器5と同様な電圧制御発振器(VCO)により構成されている。このマスター発振器6の出力ポートは、上記スレーブ発振器5の一方向結合の配列順の先頭のスレーブ発振器5(つまり、図1に示す例では、スレーブ発振器5 K_1)の入力ポートに信号接続されている。これにより、このマスター発振器6は上記先頭のスレーブ発振器5(5 K_1)に発振周波数の信号(以下、このマスター発振器6から出力される信号をマスター信号と記す)を注入する構成と成す。

【0035】この第1実施形態例では、図1に示されるように、上記各スレーブ発振器5の制御用ポートには共通にスレーブ自動制御手段9が信号接続されており、そのスレーブ自動制御手段9から各スレーブ発振器5の制御用ポートにそれぞれ同一の制御用の電圧信号が加えられる構成と成している。上記スレーブ自動制御手段9の制御動作によって、各スレーブ発振器5はそれぞれ同じ自動周波数 f_{s1} でもって自動発振動作を行うこととなる。

【0036】なお、上記各スレーブ発振器5毎にそれぞれ別個独立のスレーブ自動制御手段を接続し、それらスレーブ自動制御手段によって、各スレーブ発振器5の自動周波数 f_{s1} が同じ周波数となるように各スレーブ発振器5の自動発振動作を制御する構成としてもよいが、この第1実施形態例では、装置の小型化および部品点数の削減等を図る観点から、上記のように、共通のスレーブ自動制御手段9によって、複数のスレーブ発振器5の自動発振動作を制御する構成としている。

【0037】ところで、例えば、図2に示す時間 t_0 では、上記全てのスレーブ発振器5およびマスター発振器6は、同じ周波数 f_{s1} 、且つ、同じ位相 ϕ_0 となっている。このような状態から、図2に示す時間 t_1 において、上記マスター発振器6の発振周波数が変化して、該マスター発振器6から、前記同期条件(数式1)を満たす周波数 f_m を持ち、且つ、位相が ϕ_0 のマスター信号が前記一方向結合配列の先頭のスレーブ発振器5 K_1 に注入されると、その先頭のスレーブ発振器5 K_1 には前述した注入同期現象が生じる。なお、上記マスター信号の周波数 f_m は、 $f_m = f_{s1} + \delta f$ の数式を満たすものであり、上記周波数差 δf は小さい値である。また、上記マスター発振器6とスレーブ発振器5の各発振はその振幅が等しくなるように制御されている。

【0038】上記注入同期現象によって、非常に小さい時間 δt 後(時間 t_2)に、上記スレーブ発振器5 K_1 の発振動作は上記マスター信号の周波数 f_m に同期し、且つ、上記マスター発振器6とスレーブ発振器5 K_1 間の発振動作には上記マスター信号の周波数 f_m と上記スレーブ発振器5 K_1 の自動周波数 f_{s1} との差に応じた位相差 $\Delta \phi$ が前記数式2に従って生じる。これにより、上記スレーブ発振器5 K_1 からアンテナ部2に向けて出力される信号は、周波数が上記マスター信号と同じ周波数 f_m となり、且つ、マスター信号の位相 ϕ_0 よりも上記位相差 $\Delta \phi$ だけずれた位相($\phi_0 + \Delta \phi$)を持つ信号となる。なお、ここでは、マスター発振器6からスレーブ発振器5に注入されるマスター信号は十分に弱く、同期現象によっても、スレーブ発振器5の振幅は大幅に変化しない。

【0039】上記位相($\phi_0 + \Delta \phi$)を持つ信号が、一方向信号注入通路7を介し、次のスレーブ発振器5 K_2 に注入される。これにより、上記同様に、スレーブ発振

器5K₂に注入同期現象が発生して、時間t₃においては、上記スレーブ発振器5K₂の発振動作は上記注入信号の周波数f_mに同期し、且つ、上記スレーブ発振器5K₁とスレーブ発振器5K₂間の発振動作には上記注入信号の周波数f_mと上記スレーブ発振器5K₂の自励周波数f_{s1}との差に応じた位相差Δφが生じる。これにより、上記スレーブ発振器5K₂からアンテナ部2に向けて出力される信号は、周波数が上記注入信号と同じ周波数f_mとなり、且つ、上記スレーブ発振器5K₁からの注入信号の位相(φ₀+Δφ)よりも上記位相差Δφだけずれた位相(換言すれば、上記マスター信号の位相φ₀よりも2Δφだけずれた位相(φ₀+2Δφ))を持つ信号となる。

【0040】さらに、この信号が検出されて、一方向信号注入通路7を介して次のスレーブ発振器5K₃に注入されると、上記同様に、注入同期現象によって、時間t₄においては、そのスレーブ発振器5K₃からアンテナ部2に向けて出力される信号は、周波数が上記注入信号と同じ周波数f_mとなり、且つ、注入信号の位相(φ₀+2Δφ)よりも上記位相差Δφだけずれた位相(換言すれば、上記マスター信号の位相φ₀よりも3Δφだけずれた位相(φ₀+3Δφ))を持つ信号となる。

【0041】なお、上記周波数差δfは数式3のΔfdよりも小さい値をとるが、この範囲内で上記周波数差δfが大きいほど各スレーブ発振器5は、一方向結合の前の発振器から信号が注入され該注入信号に基づいた同期現象によって、その前の発振器に同期するまでに時間がかかるが、この一時的過渡期間の後に定常状態となつて、位相の分布は上記同様となる。

【0042】上記のように、マスター発振器6からスレーブ発振器5にマスター信号を注入することによって、注入同期現象によって、各スレーブ発振器5は一方向結合の配列順に順次上記マスター信号の周波数f_mに同期する。これにより、各スレーブ発振器5からアンテナ部2に出力される信号の周波数が上記周波数f_mに同期して各アンテナ部2のアンテナ動作に起因したビームの周波数が上記周波数f_mとなる。且つ、上記注入同期現象によって、各スレーブ発振器5間に位相差Δφが生じ、この位相差Δφによって、上記ビームの向きが決定されることとなる。

【0043】この第1実施形態例では、図1に示されるように、上記マスター発振器6の制御用ポートにはマスター信号制御手段8が信号接続されている。このマスター信号制御手段8は、マスター発振器6に加える電圧を制御することにより、マスター発振器6の発振動作を制御して上記マスター信号を制御する構成を備えており、この第1実施形態例では、上記マスター信号の周波数f_mを周期的に変化させる構成を有している。例えば、マスター信号制御手段8は三角波発生器(図示せず)から出力される三角波を利用して、上記マスター信号の周波

数f_mを図3(a)に示すように、予め定めた基本周波数f_cを基準にして、周期的に変化させる。

【0044】このようなマスター信号制御手段8の制御動作による上記マスター信号の周波数f_mの周期的な変化に伴って、上記ビームの周波数が変化することとなる。このことから、マスター信号の周波数変化を制御することによって、上記ビームを周波数変調(FM変調)させることができる。

【0045】また、上記マスター信号の周波数f_mの周期的変化によって、マスター信号(注入信号)の周波数f_mと各スレーブ発振器5の自励周波数f_{s1}との差が変化する結果、上記各スレーブ発振器5間の発振動作の位相差Δφが変化して、前記ビームの向きを変化させることができる。

【0046】例えば、マスター信号が、図3(a)に示すように、基本周波数f_cの信号と、周期的に変化する周波数F_r(t)の信号とが合成して成る信号となるように、上記マスター信号制御手段8によってマスター発振器6が制御される。且つ、スレーブ自励制御手段9の制御動作によって、各スレーブ発振器5の自励周波数f_{s1}が図3(b)に示すように上記マスター信号の基本周波数f_cと同じ周波数に固定制御される。このような場合には、上記ビームは、図3(a)に示すように周波数変調し、且つ、上記ビームの向きは、上記マスター信号の周波数f_mの周期的な変化に伴って、図3(c)に示すように、可変する。

【0047】なお、下記の数式4には、アンテナ部2の配列方向に直交する基準方向に対するビームの傾きθと、上記位相差Δφとの関係が示されている。但し、数式4に示されるλ₀はビームの波長(自由空間での波長)であり、dは隣り合っているアンテナ部2間の間隔である。

【0048】

【数4】

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda_0}{d} \cdot \frac{\Delta \phi}{2\pi} \right)$$

【0049】上記図3に示す例では、時間T₁、T₃、T₅においては、上記マスター信号の周波数f_mと、各スレーブ発振器5の自励周波数f_{s1}とが等しいことから、それら周波数f_m、f_{s1}の差に応じた位相差Δφが零となる。これにより、ビームの向きは傾きが無い状態、つまり、アンテナ部2の配列方向に直交する基準方向となる。また、時間T₂のときには、マスター信号の周波数f_mが上記自励周波数f_{s1}よりも高いことから、それら周波数f_m、f_{s1}の差に応じた位相差Δφによって、図3の左側から右側に向けてスレーブ発振器5が一方向結合している場合には、ビームの向きは図3に示す右側に傾く。反対に、時間T₄のときには、マスター信号の周波数f_mが上記自励周波数f_{s1}よりも低いことから、それら周波数f_m、f_{s1}の差に応じた位相差Δφに

よって、ビームの向きは図3に示す左側に傾く。

【0050】上記のようなビームの向きの変動は、上記基準方向を中心にして左右対称的であることが望ましい。この要望を満たすために、上記図3に示す例では、上記マスター信号の基準周波数 f_c と、各スレーブ発振器5の自励周波数 f_{sl} とが等しくなるように設計されている。また、上記のようにビームの向きの変動を基準方向に対して左右対称的にするためには、上記一方向結合の配列の手前のスレーブ発振器5から次のスレーブ発振器5に至るまでの注入信号の導通経路の長さが、上記マスター信号の波長の整数倍であることが好ましい。

【0051】この第1実施形態例によれば、上記のように、配列配置されている複数のアンテナ部2にそれぞれスレーブ発振器5を接続し、それらスレーブ発振器5を一方向信号注入通路7によって一方向結合すると共に、その一方向結合の配列の先頭のスレーブ発振器5 (5K₁) にマスター信号を注入するマスター発振器6を設け、さらに、そのマスター発振器6のマスター信号を周期的に変化させるためのマスター信号制御手段8を設けた。この構成によって、従来のような移相器3を設けることなく、上記マスター信号制御手段8の制御動作によってマスター信号の周波数を周期的に変化させるだけで、ビームの向きを可変させることができ、かつ、ビームの周波数変調をも行うことが可能となる。

【0052】上記のように、この第1実施形態例では、大型で、高価な移相器3を設けなくて済むことから、フェーズドアレーアンテナ装置1の大幅な小型化を図ることができるし、低コスト化を促進させることができる。このことから、フェーズドアレーアンテナ装置1の用途を拡大することができる。

【0053】なお、上記マスター発振器6にアンテナ部2を信号接続するか否かは適宜設定されるものであり、図1に示すように、マスター発振器6の出力ポートにアンテナ部2 (2K₀) を信号接続する場合には、そのマスター発振器6に信号接続されたアンテナ部2 (2K₀) は、前記アンテナ部2の配列の先頭に配列配置されることとなる。また、もちろん、マスター発振器6からアンテナ部2 (2K₀) に出力される信号を信号検出部11から検出して前記一方向結合配列の先頭のスレーブ発振器5 (5K₁) に注入するための一方向信号注入通路7が設けられることとなる。

【0054】また、上記第1実施形態例では、スレーブ発振器5として、入力ポートと出力ポートを有する発振器を採用する例を示したが、1ポートタイプの発振器を採用してもよい。この場合には、その1ポートタイプの発振器には入出力ポートとしてサーキュレータを設ける。このように、1ポートタイプの発振器を採用してもよいが、この第1実施形態例の如くトランジスタ発振器を用いた場合には、低コスト、低背、低電力消費、低位相ノイズという優れた特徴があると共に、入力ポートを

簡単に設けることができるという利点がある。

【0055】以下に、第2実施形態例を説明する。なお、この第2実施形態例の説明において、前記第1実施形態例と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

【0056】この第2実施形態例が前記第1実施形態例と異なる特徴的なことは、マスター信号制御手段8が、マスター発振器6のマスター信号の周波数 f_m を図4

(a) に示すように周期的に変化させるための構成を備えていることである。それ以外の構成は前記第1実施形態例と同様である。

【0057】つまり、この第2実施形態例では、上記マスター信号制御手段8によるマスター発振器6の発振動作制御によって、マスター発振器6のマスター信号は、図4 (a) に示す設定の基本周波数 f_c の信号と、周期的に変化する周波数 $F_m(t)$ を持つ周波数変調用信号と、この周波数変調用信号の周波数変化幅 ΔF_m よりも大きい変化幅 ΔF_s で、且つ、上記周波数変調用信号よりも長い周期でもって変化する周波数 $F_s(t)$ の走査用信号とが合成して成る信号となる。

【0058】この第2実施形態例では、上記マスター信号の主に走査用信号の周波数変化 ($F_s(t)$) に基づいてビームが走査する。また、上記マスター信号の主に上記周波数変調用信号の周波数変化 ($F_m(t)$) に基づいてビームが周波数変調する。その周波数変調用信号の周波数変化によっても、ビームの向きが変化するが、この第2実施形態例では、図4 (a) に示されるように、上記周波数変調用信号の周波数変化幅 ΔF_m は、上記走査用信号の周波数変化幅 ΔF_s に比べて、格段に小さく抑えているので、上記周波数変調用信号に起因したビームの向きの変動を非常に小さく抑制することができる。

【0059】この第2実施形態例によれば、上記基本周波数信号と、周波数変調用信号と、走査用信号とが合成して成るマスター信号を作り出すための構成を備えたので、上記周波数変調用信号によってビームの周波数変調を制御でき、且つ、上記走査用信号によってビーム走査を制御することができることとなる。

【0060】このことから、この第2実施形態例では、例えば、ビームの周波数変調の状態を可変したい場合には上記周波数変調用信号の周波数変化幅 ΔF_m や周波数変化の周期を可変することによって、ビーム走査に大きな悪影響を与えることなく、ビームの周波数変調を可変制御することができる。また、ビーム走査の状態を可変したい場合には、上記走査用信号の周波数変化幅 ΔF_s や周波数変化の周期を可変することによって、ビームの周波数変調に大きな悪影響を与えることなく、ビーム走査を可変制御することができる。このため、この第2実施形態例の構成を備えることによって、ビームの周波数変調と、ビームの走査との制御が容易となる。

【0061】以下に、第3実施形態例を説明する。この第3実施形態例の説明において、前記各実施形態例と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

【0062】この第3実施形態例が前記各実施形態例と異なる特徴的なことは、マスター信号制御手段8が、マスター発振器6の発振動作を制御して図5(a)に示すように周波数に変化するマスター信号を作り出す構成と成し、且つ、スレーブ自動制御手段9が、各スレーブ発振器5の自励周波数 f_{s1} を図5(b)に示すように変化させる構成と成していることである。それ以外の構成は前記各実施形態例と同様である。

【0063】つまり、この第3実施形態例では、上記マスター信号制御手段8によるマスター発振器6の発振動作制御によって、マスター信号は、基本周波数 f_c の信号と、周期的に変化する周波数 $F_m(t)$ を持つ周波数変調信号とが合成して成る信号となる。

【0064】また、スレーブ自動制御手段9の制御動作によって、各スレーブ発振器5の自励周波数 f_{s1} は、上記マスター信号の基本周波数 f_c と同じ周波数 f_c を中心にして、上記マスター発振器6の周波数変調信号の周波数変動幅 ΔF_m よりも大きい変化幅 ΔF_s で、且つ、その周波数変調信号よりも長い周期でもって変化する。このようなスレーブ発振器5の自励周波数 f_{s1} の周期的な変化によって、上記各スレーブ発振器5の自励周波数 f_{s1} とマスター信号の周波数 f_m との差が変化する結果、各スレーブ発振器5間の発振動作の位相差 $\Delta\phi$ が変化することとなる。

【0065】この第3実施形態例では、主に上記スレーブ発振器5の自励周波数 f_{s1} の変化($F_s(t)$)に基づいてビームが走査する。また、上記マスター信号の上記周波数変調信号の周波数変化($F_m(t)$)に基づいてビームが周波数変調する。その周波数変調信号の周波数変化によっても、ビームの向きが変化するが、この第3実施形態例では、図5(a)、(b)に示されるように、上記周波数変調信号の周波数変化幅 ΔF_m は、上記自励周波数 f_{s1} の周波数変化幅 ΔF_s に比べて、格段に小さく抑えているので、上記周波数変調信号に起因したビームの向きの変動を非常に小さく抑制することができる。

【0066】この第3実施形態例によれば、マスター信号の周波数変調信号によって、ビームの周波数変調を制御でき、また、各スレーブ発振器5の自励周波数 f_{s1} の周波数変化によって、ビームの走査を制御できる構成としたので、上記第2実施形態例と同様に、ビームの周波数変調と、ビームの走査とを容易に制御することができることとなる。

【0067】また、この第3実施形態例では、マスター信号にビームを走査するための信号成分が含まれないので、ビームの周波数変化には走査用の信号に起因した周

波数変化が含まれないこととなり、例えば、この第3実施形態例に示したフェーズドアレーアンテナ装置1をレーダ装置に組み込んだ場合には、フェーズドアレーアンテナ装置1の送信信号と受信信号を利用した信号処理を簡単にすることができる。

【0068】以下に、第4実施形態例を説明する。なお、この第4実施形態例の説明において、前記各実施形態例と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

10 【0069】この第4実施形態例において特徴的なことは、前記第2や第3の実施形態例に示したように、マスター信号が基本周波数 f_c の信号と少なくとも周波数変調信号とが合成して成る信号である場合に、そのマスター信号の周波数変調信号に起因したビーム走査のぶれを抑制することができる構成を備えていることである。それ以外の構成は前記各実施形態例と同様である。

20 【0070】つまり、この第4実施形態例では、スレーブ自動制御手段9は各スレーブ発振器5の自励周波数 f_{s1} を少なくとも上記マスター信号の周波数変調信号の周波数変化にほぼ一致させて変化させる構成を備えている。このスレーブ自動制御手段9の制御動作による上記各スレーブ発振器5の自励周波数 f_{s1} の周期的変化によって、上記マスター信号の周波数変調信号の周波数変化($F_m(t)$)と各スレーブ発振器5の自励周波数 f_{s1} との差分の変化が抑えられる。このため、上記マスター信号の周波数変調信号によって各スレーブ発振器5間の発振動作の位相差 $\Delta\phi$ が変化することは無くなり、これにより、ビームの向きは変化しないこととなって上記マスター信号の周波数変調信号に起因したビーム走査のぶれを抑制することができる。

30 【0071】具体的な例を示すと、例えば、マスター信号制御手段8の制御動作によって、マスター信号が、図6(a)に示すように、基本周波数 f_c の信号と、周波数 $F_m(t)$ の周波数変調信号と、周波数 $F_s(t)$ の走査用信号とが合成して成る信号となっている場合には、例えば、スレーブ自動制御手段9の制御動作によって、各スレーブ発振器5の自励周波数 f_{s1} を、図6(b)に示すように、基本周波数 f_c を基準として上記マスター信号の周波数変調信号の周波数変化 $F_m(t)$ にほぼ一致させて変化させる。

40 【0072】この場合には、上記マスター信号の周波数変調信号によってビームが周波数変調し、また、マスター信号の走査用信号によって、図6(c)に示すように、ビームが走査され、さらに、上記スレーブ発振器5の自励周波数 f_{s1} の周波数変化によって上記マスター信号の周波数変調信号に起因したビーム走査のぶれが上述したように抑制される。

50 【0073】また、例えば、マスター信号制御手段8の制御動作によって、マスター信号が、図7(a)に示すように、基本周波数 f_c の信号と、周波数 $F_m(t)$ の周

波数変調用信号とが合成して成る信号となっている場合には、例えば、スレーブ自励制御手段 9 の制御動作によって、図 7 (b) に示すように、基本周波数 f_c を基準として、上記マスター信号の周波数変調用信号の周波数変化 $F_m(t)$ にほぼ一致させた周波数変化と、この周波数変化幅 ΔF_m よりも大きな変化幅 ΔF_s で、且つ、上記周波数変化よりも長い周期でもって変化する周波数 $F_s(t)$ の変化とが合成して成る周波数変化でもって、各スレーブ発振器 5 の自励周波数 f_{sl} を可変制御する。

【0074】この場合には、上記マスター信号の周波数変調用信号によってビームが周波数変調し、また、上記スレーブ発振器 5 の自励周波数 f_{sl} の大側の変化 ($F_s(t)$) によって、図 7 (c) に示すように、ビームが走査され、さらに、上記スレーブ発振器 5 の自励周波数 f_{sl} の小側の変化 ($F_m(t)$) によって上記マスター信号の周波数変調用信号に起因したビーム走査のぶれが上述したように抑制される。

【0075】この第 4 実施形態例によれば、上記各実施形態例と同様の優れた効果を奏することができる上に、マスター信号の周波数変調用信号の周波数変化にほぼ一致させて各スレーブ発振器 5 の自励周波数 f_{sl} を少なくとも変化させる構成を備えているので、その各スレーブ発振器 5 の自励周波数 f_{sl} の周波数変化によって、上記マスター信号の周波数変調用信号に起因したビーム走査のぶれを抑制することができるという効果を得ることができる。

【0076】以下に、第 5 実施形態例を説明する。なお、この第 5 実施形態例の説明において、前記各実施形態例と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

【0077】この第 5 実施形態例において特徴的なことは、各アンテナ部 2 を複数のアンテナによって構成したことである。それ以外の構成は前記各実施形態例と同様である。

【0078】複数のアンテナにより形成されるアンテナ部 2 の構成には様々な形態がある。例えば、図 8 (a) に示す例では、各アンテナ部 2 は、それぞれ、複数のアンテナ 15 がアンテナ部 2 の配列方向に沿って配列配置されてアンテナ群を構成している形態と成し、これら各アンテナ部 2 の複数のアンテナ 15 は共通のスレーブ発振器 5 に並列的に信号接続されている。このような構成とすることにより、要求されるアンテナ 15 の数に対するスレーブ発振器 5 の設置数の削減を図ることができる。

【0079】また、図 8 (b) に示す例では、各アンテナ部 2 は、それぞれ、複数のアンテナ (例えば、チップアンテナ) 16 が整列配置されて直列的に接続されているサブアンテナアレーと成している。このように、各アンテナ部 2 をサブアンテナアレーにより構成する場合には、例えば、ビーム走査が一次元であるときには、上記

サブアンテナアレーのアンテナ 16 を上記ビーム走査とは異なる次元上に配列配置する。具体例としては、例えば、 $x y z$ の 3 次元空間において、ビーム走査が x 平面に沿って行われている場合には、上記サブアンテナアレーの複数のアンテナ 16 を y 平面あるいは z 平面に沿って配列配置する。

【0080】上記のように、各アンテナ部 2 をサブアンテナアレーにより構成することによって、ビームの指向性を、上記サブアンテナアレーのアンテナ 16 の配列方向にシャープにすることができる。

【0081】なお、上記アンテナ 16 が例えば $\lambda/2$ パッチ型のアンテナ構造を備えている場合には、上記隣り合っているアンテナ 16 間の間隔が $\lambda/2$ (λ はビームの波長) となるように、上記複数のアンテナ 16 を配列配置することが望ましい。

【0082】さらに、図 8 (c) に示す例では、各アンテナ部 2 は、上記図 8 (b) に示すサブアンテナアレーのアンテナ 16 と同様に複数のアンテナ 17 が配列配置されているが、上記図 8 (b) に示すアンテナ部 2 と異なることは、上記複数のアンテナ 17 がスレーブ発振器 5 に並列的に信号接続されていることである。このような場合にも、上記図 8 (b) に示すアンテナ部 2 と同様に、ビームの指向性をサブアンテナアレーの配列方向にシャープにすることができるという効果を奏することができる。

【0083】なお、複数のアンテナにより構成されるアンテナ部 2 の形態は上記図 8 (a) ~ (c) に示すアンテナ部 2 の形態に限定されるものではなく、様々な形態を採り得るものである。

【0084】この第 5 実施形態例によれば、各アンテナ部 2 を複数のアンテナによって構成することによって、要求されるアンテナの数に対するスレーブ発振器 5 の設置数を削減することができる上に、アンテナ利得を高めることができるという効果をも奏することができる。

【0085】以下に、第 6 実施形態例を説明する。この第 6 実施形態例では、上記各実施形態例に示したフェーズドアレーアンテナ装置 1 を備えたレーダ装置の一例を説明する。

【0086】この第 6 実施形態例に示すレーダ装置は FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) レーダ装置であり、図 9 (a) に示すような構成を備えている。つまり、図 9 (a) に示すレーダ装置 20 は、上記第 1 ~ 第 5 の実施形態例の何れか 1 つに示したフェーズドアレーアンテナ装置 1 を送信用のアンテナ装置として有すると共に、受信用のアンテナ装置 21 と、ミキシング部 22 と、ローパスフィルタ (LPF) 23 と、DSP (Digital Signal Processor) ユニット 24 とを有して構成されている。

【0087】なお、図 9 (a) では、上記フェーズドアレーアンテナ装置 1 を構成するマスター信号制御手段 8

およびスレーブ自動制御手段 9 の図示が省略され、また、各スレーブ発振器 5 の一方向結合の形態が簡略化されて図示されている。

【0088】この第 6 実施形態例では、上記受信用のアンテナ装置 21 は、ビームの向きが固定されているビーム非走査タイプのアンテナ装置である。そのビーム非走査タイプのアンテナ装置の構成には様々な形態が有るが、ここでは、何れの形態のビーム非走査タイプのアンテナ装置をも受信用のアンテナ装置 21 として採用してよいものである。ここでは、その受信用のアンテナ装置 21 の詳細説明は省略する。

【0089】この第 6 実施形態例に示すレーダ装置 20 では、上記フェーズドアレーアンテナ装置 1 はミキシング部 22 に送信信号検出通路 26 を介して信号接続され、また、上記受信用のアンテナ装置 21 は受信信号供給通路 27 を介してミキシング部 22 に信号接続されている。このため、上記ミキシング部 22 には、フェーズドアレーアンテナ装置 1 のマスター発振器 6 から出力されるマスター信号が検出されて上記送信信号検出通路 26 を介し加えられる。また、上記ミキシング部 22 には、上記受信用のアンテナ装置 21 で受信した受信信号をも上記受信信号供給通路 27 を介して加えられる。

【0090】上記ミキシング部 22 は、上記フェーズドアレーアンテナ装置 1 から加えられた図 9 (b) の実線 α に示すような送信信号と、受信用のアンテナ装置 21 から加えられた図 9 (b) の破線 β に示すような受信信号とをミキシングし、図 9 (c) に示すような信号を作り出して出力する構成を備えている。このミキシング部 22 から出力された信号は L P F 23 を介して D S P ユニット 24 に加えられ、該 D S P ユニット 24 において、予め定められた信号処理が成されて、レーダ装置 20 からターゲットまでの距離 R や、レーダ装置 20 に対するターゲットの相対的な移動速度 V が検出される。

【0091】例えば、上記フェーズドアレーアンテナ装置 1 から放射されたビームが、距離 R 分だけ離れた位置に有るターゲットに達して反射すると、その反射ビームは、上記ビームが放射されてから $2R/c$ 秒を経過したときに、上記受信用のアンテナ装置 21 で受信されることとなる。なお、上記 c は光の速度である。

【0092】上記受信用のアンテナ装置 21 で受信されたビームと、フェーズドアレーアンテナ装置 1 から放射されたビームとには、上記時間 $2R/c$ に応じた周波数差異および位相差が発生する。この結果、ミキシング部 22 から出力される上記ミキシング後の信号は、図 9 (c) に示すようなビート信号 B1、B2 を有する信号となる。

【0093】上記 D S P ユニット 24 は上記ビート信号 B1、B2 を利用して、上記レーダ装置 20 から上記ターゲットに至るまでの距離 R や、レーダ装置 20 に対する上記ターゲットの相対移動速度 V を、例えば、下記の

数式 5 や数式 6 に従って算出することができる。

【0094】

【数 5】

$$R = \frac{C \cdot f_{ab}}{4 \cdot f_{FM} \cdot \Delta F_m}$$

【0095】

【数 6】

$$V = \frac{C}{2 \cdot f_c} \cdot f_{dp}$$

10 【0096】なお、数式 5、数式 6 に示される c は光の速度であり、 f_{ab} は上記ビート信号 B1 のピーク値 f_a と上記ビート信号 B2 のピーク値 f_b との加算値を 2 で割った値 $((f_a + f_b)/2)$ を表しており、 $1/f_{FM}$ は周波数変調の周期を表し、 ΔF_m はビームの周波数変調の振幅を表す。また、 f_{dp} はドップラー周波数であり、上記ビート信号 B1 のピーク値 f_a から上記ビート信号 B2 のピーク値 f_b を差し引いた差分値を 2 で割った値 $((f_a - f_b)/2)$ を表し、 f_c はビームの基本周波数を表している。

20 【0097】上記のように、レーダ装置 20 は、ターゲットまでの距離 R や、ターゲットの相対移動速度 V を検出することができる。

【0098】この第 6 実施形態例によれば、上記第 1 ～第 5 の実施形態例の何れか 1 つに示されているフェーズドアレーアンテナ装置 1 を送信用のアンテナ装置として採用してレーダ装置 20 を構成したので、前述したように、フェーズドアレーアンテナ装置 1 の小型化、低コスト化に伴って、レーダ装置 20 の小型化、低コスト化を促進させることが可能である。従来のフェーズドアレーアンテナ装置を搭載したレーダ装置は、大型で、且つ、高価格であったために、用途が限定されていたが、この第 6 実施形態例に示すレーダ装置 20 は、上記の如く、小型で、且つ、安価であることから、例えば、普通自動車等の車載用としても実用的に使用することが可能となり、レーダ装置 20 の用途を拡大することができることとなる。

30 【0099】以下に、第 7 実施形態例を説明する。図 10 には、この第 7 実施形態例で示すレーダ装置の主要な構成部分が模式的に示されている。この第 7 実施形態例に示すレーダ装置 20 は、上記第 1 ～第 5 の実施形態例の何れか 1 つに示したフェーズドアレーアンテナ装置 1 が送信用のアンテナ装置として設けられると共に、この送信用のアンテナ装置と同様の構成を備えたフェーズドアレーアンテナ装置 1 が受信用のアンテナ装置として設けられており、上記送信用のアンテナ装置から放射される送信ビームだけでなく、上記受信用のアンテナ装置の受信ビームをも送信ビームと同様に走査される構成を有している。なお、上記フェーズドアレーアンテナ装置 1 の構成は前記各実施形態例で述べたので、ここでは、その重複説明は省略する。

【0100】この第7実施形態例では、図10に示すように、上記送信用のアンテナ装置の各アンテナ部2の近傍に、それぞれ、一対一に対応する受信用のアンテナ装置のアンテナ部2'が配設されている。また、それら送信用のアンテナ部2と受信用のアンテナ部2との対にそれぞれ対応するミキシング部22が設けられている。それら各ミキシング部22は、それぞれ、対応する送信用のアンテナ部2の信号入力側の信号通路10に送信信号検出通路26を介して接続され、また、受信用のアンテナ部2'の信号出力側に受信信号供給通路27を介して接続されている。このため、各ミキシング部22には、それぞれ、対応する送信用のアンテナ部2の送信信号と、受信用のアンテナ部2'で受信された受信信号とが加えられ、各ミキシング部22は、それら送信信号と受信信号をミキシングする構成を備えている。

【0101】上記各ミキシング部22は共通の信号合成部28に接続されており、各ミキシング部22で作られたミキシング信号は、上記信号合成部28に加えられる。その信号合成部28は、それら加えられたミキシング信号をさらに合成し、LPF23を介してDSPユニット24に出力する。このDSPユニット24では、上記第6実施形態例と同様に、予め定められた信号処理を行って、ターゲットまでの距離Rや、レーダ装置20に対するターゲットの相対移動速度Vを検出する。

【0102】この第7実施形態例では、DSPユニット24における信号処理を容易にするために、上記送信ビームと受信ビームの向きがほぼ同一となるように、各送信ビームと受信ビームを走査するためのビーム走査手段（図示せず）が設けられている。例えば、送信用と受信用の各アンテナ装置1のマスター信号制御手段8やスレーブ自動制御手段9をそれぞれ共通化することでビーム走査手段と成す。

【0103】この第7実施形態例によれば、送信ビームだけでなく、受信ビームをも走査されるので、送信信号と受信信号を利用した信号処理を簡単にすることができる。

【0104】以下に、第8実施形態例を説明する。なお、この第8実施形態例の説明において、上記各実施形態例と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

【0105】この第8実施形態例では、送信と受信を両方共に行うフェーズドアレーアンテナ装置の一例と、それを搭載したレーダ装置の構成例とを示す。図11に、この第8実施形態例に示すフェーズドアレーアンテナ装置1は、上記第1～第5の実施形態例に示したフェーズドアレーアンテナ装置1とほぼ同様の構成を備えているが、異なる特徴的なことは、図11に示されるようなミキシング部22とサーキュレーター30と送信信号取り

出し部31が設けられていることである。なお、図11では、フェーズドアレーアンテナ装置1のマスター信号制御手段8とスレーブ自動制御手段9の図示が省略されている。

【0106】上記サーキュレーター30は、各アンテナ部2とスレーブ発振器5（あるいはマスター発振器6）間の信号通路10にそれぞれ介設される。また、送信信号取り出し部31は、上記サーキュレーター30よりもスレーブ発振器5（マスター発振器6）側の信号通路10の部位に設けられている。なお、上記送信信号取り出し部31は、前記信号通路10と一方向信号注入通路7間の信号検出部11と別個に設けてもよいし、兼用する構成としてもよいものである。

【0107】上記各サーキュレーター30には、それぞれ、一対一に対応するミキシング部22が信号接続されている。また、これら各ミキシング部22は、それぞれ、対応する上記送信信号取り出し部31に送信信号供給通路26を介して信号接続されている。

【0108】この第8実施形態例では、上記各サーキュレーター30によって、スレーブ発振器5（あるいはマスター発振器6）からアンテナ部2に送信信号が供給され、且つ、アンテナ部2で受信された受信信号は、上記スレーブ発振器5（あるいはマスター発振器6）とは異なる設定の出力部であるミキシング部22に向けて出力される構成と成している。

【0109】上記各ミキシング部22には、それぞれ、上記の如くサーキュレーター30から受信信号が供給されると共に、上記送信信号取り出し部31により検出された送信信号が送信信号検出通路26を介して加えられる。それら各ミキシング部22は、上記加えられた受信信号と送信信号をミキシングして、共通の信号合成部28に出力する。そして、前記第7実施形態例と同様に、信号合成部28により、それら各ミキシング部22のミキシング信号が合成されて、LPF23を介してDSPユニット24に出力されて、ターゲットまでの距離Rや、ターゲットの相対移動速度Vが検出される。

【0110】この第8実施形態例によれば、送信と受信を1つのフェーズドアレーアンテナ装置1によって行うことが可能となるので、ビームの送信と受信を行うためのアンテナ装置を1つ設けるだけで済むこととなり、レーダ装置20のより一層の小型化を図ることができる。

【0111】なお、この発明は上記各実施形態例に限定されるものではなく、様々な実施の形態を採り得る。例えば、上記各実施形態例に示したフェーズドアレーアンテナ装置1では、マスター信号の基本周波数 f_c と、スレーブ発振器5の自励周波数 f_{sl} の基本周波数とが同様となっていたが、それら周波数は異にしてもよい。ただし、上記マスター信号の基本周波数 f_c は、前記同期条件を満たす周波数とする。

【0112】

【発明の効果】この発明のフェーズドアレーアンテナ装置によれば、配列配置された複数のアンテナ部にはそれぞれスレーブ発振器が信号接続され、それらスレーブ発振器は上記アンテナ部の配列に応じて一方向結合されており、その配列の先頭のスレーブ発振器にマスター信号を注入するマスター発振器が設けられ、さらに、そのマスター発振器の発振動作を制御して上記マスター信号を周期的に変化させるマスター信号制御手段が設けられている構成とした。

【0113】この構成による上記マスター信号の周期的変化、および、上記マスター発振器からスレーブ発振器へのマスター信号の注入動作、および、注入同期現象によって、各アンテナ部のアンテナ動作に起因したビームが周波数変調し、且つ、ビームの向きが可変することとなる。

【0114】このように、この発明のフェーズドアレーアンテナ装置は、従来のような大型且つ高価な位相器を設けなくとも、上記マスター信号の周期的な可変制御によって、ビームの周波数変調だけでなく、ビームの向きの可変をも可能となることから、フェーズドアレーアンテナ装置の大幅な小型化および低コスト化を図ることができる。

【0115】このことから、この発明において特徴的な構成を持つフェーズドアレーアンテナ装置を備えたレーダ装置にあっては、上記フェーズドアレーアンテナ装置の小型化および低コスト化に伴って、レーダ装置の小型化および低コスト化を促進させることができる。これに起因して、フェーズドアレーアンテナ装置を搭載したレーダ装置の用途を拡大することができる。

【0116】マスター信号制御手段の制御動作によって、マスター信号が、予め定めた基本周波数の信号と、周波数変調用信号と、走査用信号とが合成して成る信号と成しているフェーズドアレーアンテナ装置にあっては、上記マスター信号の周波数変調用信号によってビームの周波数変調を制御することができ、また、上記走査用信号によってビーム走査を制御することが可能となる。このことから、上記ビームの周波数変調と、ビーム走査とをそれぞれほぼ独立した状態で制御することができることとなり、上記ビームの周波数変調とビーム走査の制御が容易となる。

【0117】マスター信号制御手段の制御動作によって、マスター信号が、予め定めた基本周波数の信号と、周波数変調用信号とが合成して成る信号と成し、また、スレーブ自励制御手段の制御動作によって、各スレーブ発振器の自励周波数が上記周波数変調用信号の周波数変化幅よりも大きい変化幅で、且つ、上記周波数変調用信号よりも長い周期でもって変化する構成と成しているフェーズドアレーアンテナ装置にあっては、上記マスター信号の周波数変調用信号によってビームの周波数変調を制御することができ、また、スレーブ発振器の自励周波

数の上記周波数変化によってビーム走査を制御することが可能となる。このことから、上記同様に、上記ビームの周波数変調と、ビーム走査とをそれぞれほぼ独立した状態で制御することができることとなり、上記ビームの周波数変調とビーム走査の制御が容易となるという効果を奏することができることとなる。

【0118】また、マスター信号に走査用信号が含まれていないので、ビームの周波数変調に上記走査用信号に起因した周波数変化が含まれないこととなり、例えば、このフェーズドアレーアンテナ装置を搭載したレーダ装置では、信号処理の煩雑化を防止することができる。

【0119】マスター信号制御手段の制御動作によって、マスター信号が、予め定めた基本周波数の信号と、少なくとも周波数変調用信号とが合成して成る信号と成し、また、スレーブ自励制御手段の制御動作による各スレーブ発振器の自励周波数の変化に、上記周波数変調用信号の周波数変化幅よりも大きい変化幅で、且つ、上記周波数変調用信号よりも長い周期を持つ周波数変化が少なくとも含まれている構成と成しているフェーズドアレーアンテナ装置にあっては、上記スレーブ発振器の自励周波数の変化によって、上記周波数変調信号に起因したビーム走査のぶれを抑制することができる。このようなフェーズドアレーアンテナ装置を備えたレーダ装置では、上記のように、ビーム走査のぶれが抑制されるので、レーダ装置の送信信号および受信信号を用いた信号処理を簡単に行うことができることとなる。

【0120】マスター発振器にもアンテナ部が信号接続されているフェーズドアレーアンテナ装置や、各アンテナ部が複数のアンテナが集合して成るアンテナ群により構成されているフェーズドアレーアンテナ装置にあっては、例えば、要求されるアンテナの数に対する発振器の設置数を削減することが可能となり、その発振器の削減に起因してフェーズドアレーアンテナ装置の小型化および低コスト化をより一層促進させることが可能となる。

【0121】各アンテナ部はビームの送信および受信を行う構成と成し、各アンテナ部と、該アンテナ部に信号接続するスレーブ又はマスターの発振器との間の信号通路にサーキュレーターが介設されると共に、そのサーキュレーターよりも発振器側の信号通路部位に送信信号取り出し部が設けられているフェーズドアレーアンテナ装置にあっては、ビームの送信と受信を両方共に行うことが可能であることから、このフェーズドアレーアンテナ装置を備えたレーダ装置にあっては、フェーズドアレーアンテナ装置を1つ搭載するだけで済むこととなり、レーダ装置の更なる小型化および低コスト化を図ることができることとなる。

【0122】また、上記フェーズドアレーアンテナ装置には、上記のように、サーキュレーターと、送信信号取り出し部とが設けられて、送信信号と受信信号をそれぞれ別々に検出するための構成が備えられているので、こ

のフェーズドアレーアンテナ装置を搭載したレーダ装置にあっては、上記送信信号と受信信号を用いた信号処理が容易となる。

【0123】この発明において特有な構成を持つフェーズドアレーアンテナ装置が送信用のアンテナ装置として設けられ、受信用のアンテナ装置として、ビーム非走査タイプのアンテナ装置が設けられているレーダ装置にあっては、受信用のアンテナ装置として、ビーム非走査タイプのアンテナ装置を設けたので、装置の煩雑化を抑制することができる。

【0124】この発明において特有な構成を持つフェーズドアレーアンテナ装置が送信用のアンテナ装置として設けられ、また、受信用のアンテナ装置として、上記送信用のアンテナ装置のビーム走査と同様にビーム走査が成されるアンテナ装置が設けられているレーダ装置にあっては、送信ビームと受信ビームの各向きが常に同じとなるので、ターゲットまでの距離や、レーダ装置に対するターゲットの相対移動速度等をより正確に検出することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係るフェーズドアレーアンテナ装置の一例を模式的に示す説明図である。

【図2】注入同期現象によるスレーブ発振器の発振動作の変化を説明するための図である。

【図3】第1実施形態例に示すマスター発振器のマスター信号の周波数変化と、その周波数変化に起因したビームの向きの変化とを模式的に示す説明図である。

【図4】第2実施形態例において特徴的なマスター信号の周波数変化と、その周波数変化に起因したビームの向きの変化とを模式的に示す説明図である。

【図5】第3実施形態例において特徴的なマスター信号の周波数変化と、各スレーブ発振器の自励周波数の周期的な変化と、それら周波数変化に起因したビームの向きの変化とを模式的に示す説明図である。

【図6】マスター信号の周波数変調用信号に起因したビ*

*ーム走査のぶれを抑制するためのスレーブ発振器の自励周波数の周期的変化の一例をマスター信号と共に示した説明図である。

【図7】マスター信号の周波数変調用信号に起因したビーム走査のぶれを抑制するためのスレーブ発振器の自励周波数の周期的変化のその他の例をマスター信号と共に示した説明図である。

【図8】複数のアンテナにより成るアンテナ部の形態例を示したモデル図である。

10 【図9】この発明において特徴的な構成を備えたフェーズドアレーアンテナ装置を設けたレーダ装置の一例を示す説明図である。

【図10】送信ビームと受信ビームが同様に走査されているレーダ装置の一例を示す説明図である。

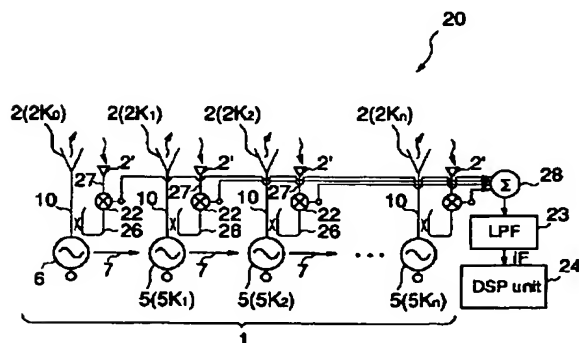
【図11】送信と受信を両方共に行うフェーズドアレーアンテナ装置の一例がレーダ装置に組み込まれた状態で模式的に示されている図である。

【図12】従来のフェーズドアレーアンテナ装置の一例を示すモデル図である。

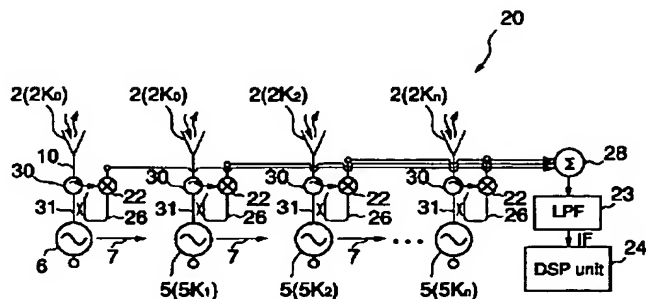
20 【符号の説明】

- 1 フェーズドアレーアンテナ装置
- 2 アンテナ部
- 5 スレーブ発振器
- 6 マスター発振器
- 7 一方向信号注入通路
- 8 マスター信号制御手段
- 9 スレーブ自励制御手段
- 10 信号通路
- 11 信号検出部
- 30 15, 16, 17 アンテナ
- 20 レーダ装置
- 21 受信用のアンテナ装置
- 30 サーキュレーター
- 31 送信信号取り出し部

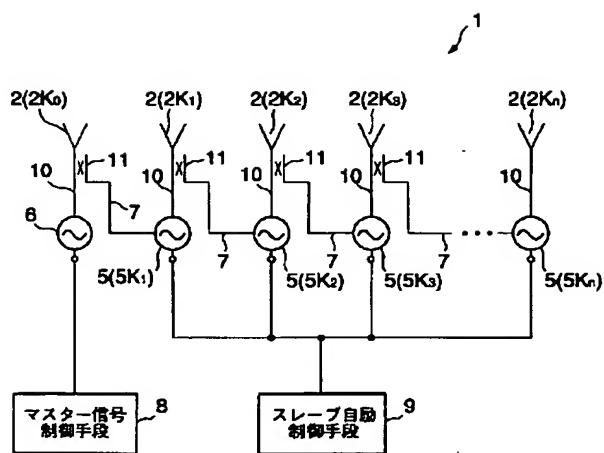
【図10】



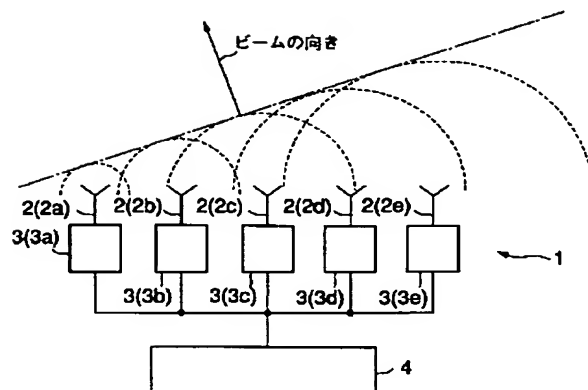
【図11】



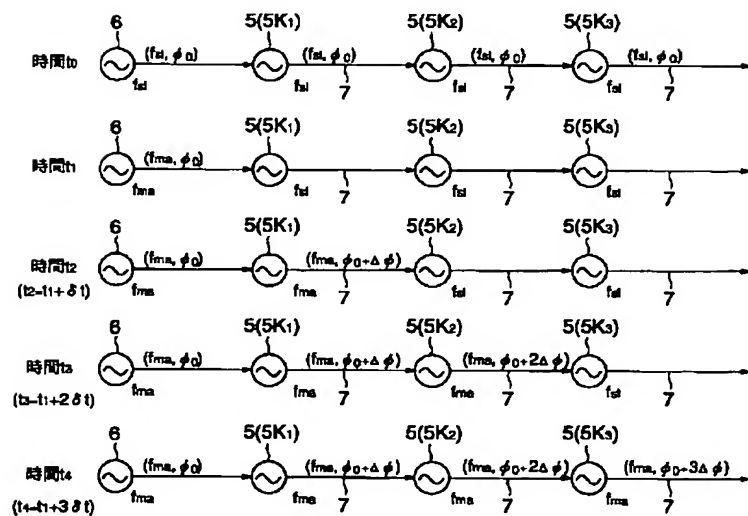
【図1】



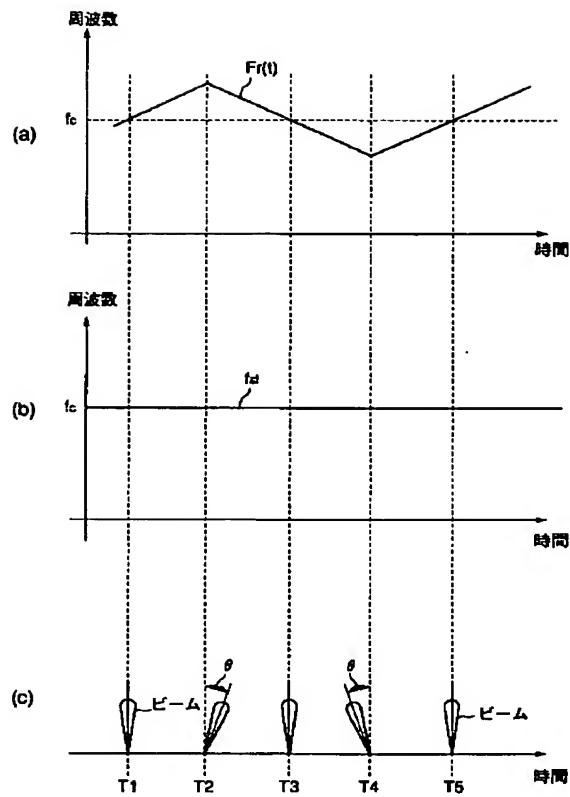
【図12】



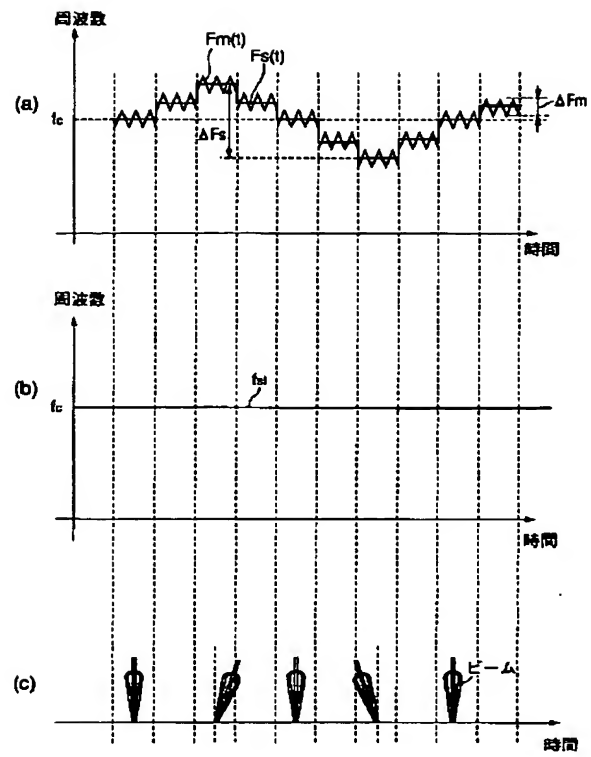
【図2】



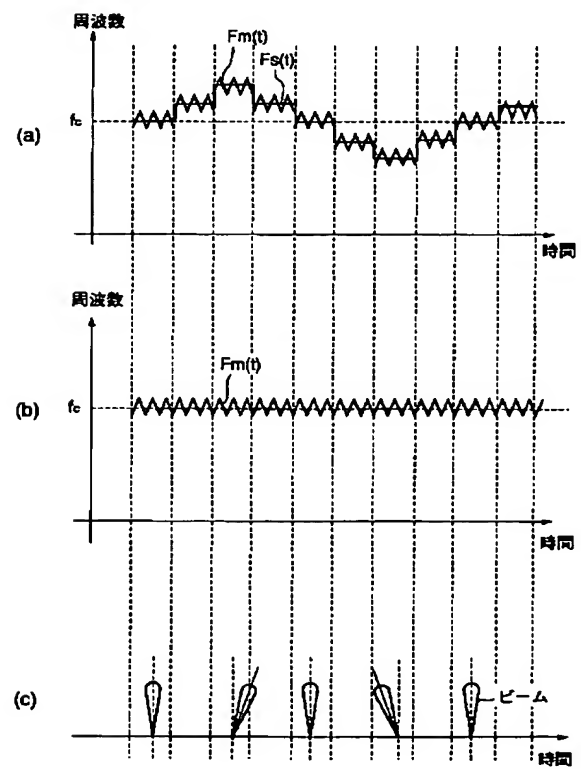
【図3】



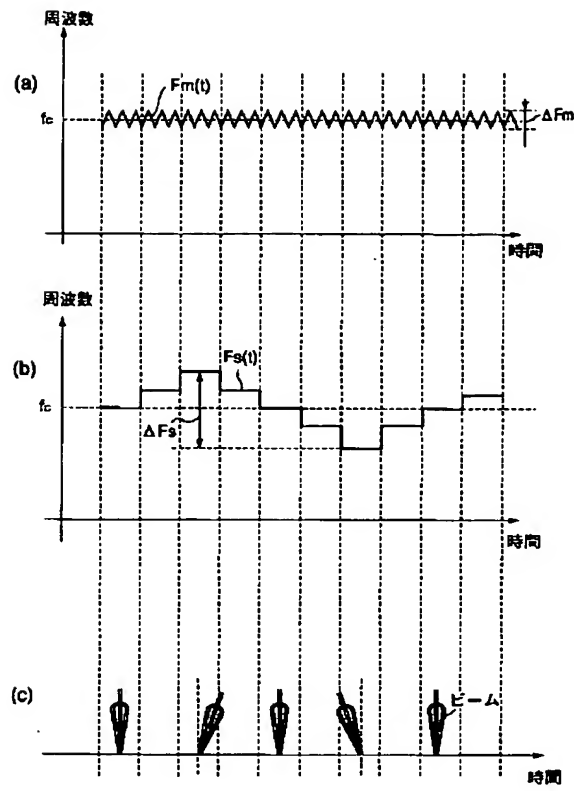
【図4】



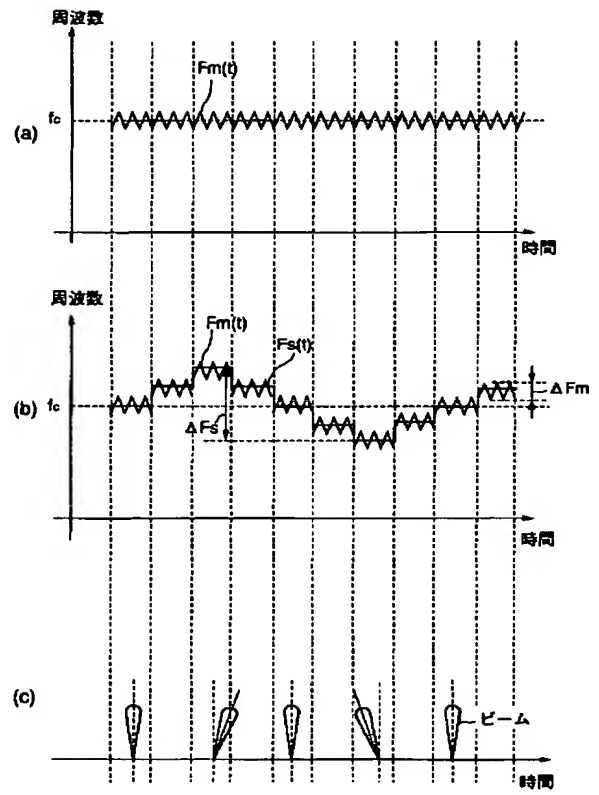
【図6】



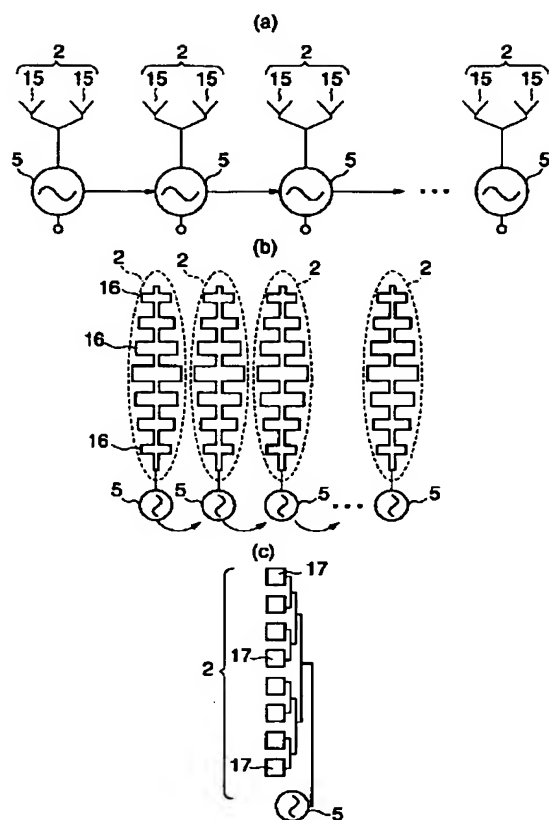
【図5】



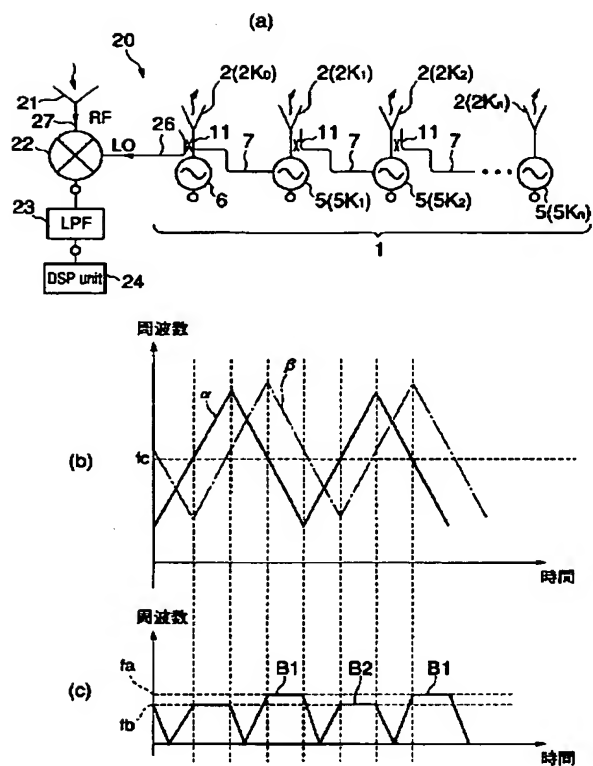
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 川端 一也
 京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式
 会社村田製作所内

(72)発明者 野木 茂次
 岡山県岡山市土田1272-4

(72)発明者 佐藤 稔
 岡山県岡山市北方1丁目1-27-2
 Fターム(参考) 5J021 AA05 AA06 CA06 DB03 EA04
 FA17 FA24 FA32 FA34 GA02
 HA04 HA05
 5J070 AB17 AD10 AD20 AK40

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.